Journal of Agricultural Economics and Development

Homepage: https://jead.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 3, Fall 2023, p. 271-287

Determining the Eco-Efficiency of Major Crops in Selected Rigions of Khuzestan Province

M. Mardani Najafabadi[1]*, A. Abdeshahi[2], E. Ahani[3]

Received: 18-09-2022 Revised: 30-01-2023 Accepted: 13-02-2023 Available Online: 13-02-2023	**How to cite this article:** Mardani Najafabadi, M., Abdeshahi, A., & Ahani, E. (2023). Determining the eco-efficiency of major crops in selected rigions of Khuzestan province. *Journal of Agricultural Economics & Development, 37*(3), 271-287. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jead.2023.78856.1158

Introduction

The relationship between economic development and the environment is known as one of the most important issues facing societies. If in the context of sustainable development, economic and environmental activities are considered together, the environment and economic development are two complementary factors and, as a result, it will lead to ecological balance. In this case, economic activities will not disturb this balance. Presently, the imperative of safeguarding the environment and attaining sustainable development has ascended to a prominent position on the agendas of diverse societies, Iran included. This commitment is underscored by the execution of comprehensive economic, social, and cultural initiatives aimed at fostering long-term ecological resilience and balanced societal progress. Therefore, to preserve the environment and meet the goals of sustainable development, as well as to guide and rationally manage plans and projects, especially in the agricultural sector, serious measures should be taken. Therefore, this study was carried out to evaluate the operational, environmental, and eco-efficiency of the major agricultural products of the irrigation and drainage networks of Gotvand.

The irrigation and drainage network of Gotvand is located in the southwest of Iran in Khuzestan province. This network is designed to irrigate lands located in three regions of Gotvand, Aghili, and Dimcheh, enclosed between two rivers, Karun and Lor. According to the official statistics of government organizations, the consumption of fertilizers and chemical poisons in the lands covered by this network is 3.6 times the average limit in Iran. The excess irrigation water in this network is returned to the rivers by the built-in drains and causes water pollution downstream of the network. Therefore, considering that environmental protection is one of the most important aspects of sustainable development, it is very important to investigate the effects of the use of pesticides and chemical fertilizers in agriculture and to introduce solutions to improve the efficiency of the environment in the study area.

Materials and Methods

Eco-efficiency includes operational and environmental impacts, which are presented as the ratio of the weighted sum of outputs to the weighted sum of inputs (operational inputs + environmental inputs). However, since agricultural activities are carried out in uncertain environmental conditions, there is uncertainty regarding inputs and outputs. The uncertainty in some of the effective input and output parameters in the ranking of networks, and as a result, the inaccuracy of the model calculation results, and the need to pay attention to the use of uncertainty models, make it more obvious. Therefore, in the present study, to include the conditions of uncertainty

1 and 2- Associate Professors of Agricultural Economics, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.mardani@asnrukh.ac.ir)
3- Lecturer in the Department of Accounting and Economics at Bozorgmehr Qaenat and Torbat Heydarieh University
https://doi.org/10.22067/jead.2023.78856.1158

and risk, the robust data envelopment analysis (RDEA) model was used, which is one of the most powerful and useful models in conditions of uncertainty. The required data were collected by completing a questionnaire of the Gotvand, Aghili, and Dimche regions using a simple random sampling method in 2019.

Results and Discussion

The alfalfa producers in the Gotvand region assigned the highest environmental and Eco-efficiency by obtaining points in the range of 81 to 89 percent and 90 to 96 percent, respectively. The rice crop in the Aghili region had the highest types of operational efficiency based on different levels of deviation probability in the range of 77-87%, environmental efficiency in the range of 80-90%, and environmental-economic efficiency in the range of 87-95%. Dimanche sugarcane region has the highest average of efficiency types for different levels of deviation probability by obtaining points in the range of 78 to 90, 80 to 89, and 87 to 95 respectively for operational, environmental, and Eco-efficiency. Comparing the results of technical efficiency with environmental efficiency shows the lack of attention and skill of farmers in the correct and optimal use of production inputs. Therefore, it is necessary to hold educational and promotional classes to empower farmers to improve production methods and optimal consumption of inputs to improve farmers' income and increase their profits. Given that a substantial portion of energy consumption within the agricultural sector is attributed to fuels and diesel, optimizing energy usage and promoting the adoption of newer, less polluting energy sources emerge as crucial imperatives. Enhancing environmental efficiency in this context involves a strategic focus on reducing reliance on traditional, environmentally taxing energy forms in favor of more sustainable alternatives.

Conclusion

The average operating efficiency in all different probability levels for the studied products in Goutvand , Aghili, and Dimche areas, except for beans in the Gatund area, was estimated to be lower than the average environmental efficiency. This shows the lack of ability and skill of farmers to produce a certain product with the lowest amount of input, while the farmers of these areas pay great attention and care to environmental issues.

Keywords: Khuzestan, Operational efficiency, Robust data envelopment analysis, Undesirable output, Undesirable input

Journal of Agricultural Economics and Development
https://jead.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰۲، ص ۲۸۷-۲۷۱

تعیین کارایی محیط‌زیستی محصولات عمده زراعی مناطق منتخب استان خوزستان

مصطفی مردانی نجف آبادی[۱*]- عباس عبدشاهی[۲]- الهه آهنی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴

چکیده

تجزیه و تحلیل نظام‌های کشاورزی به‌منظور تعیین کارایی و بررسی اثرات محیط زیستی- اقتصادی، موجب ارتقاء کیفی مدیریت و توسعه پایدار کشاورزی می‌گردد. توسعه پایدار بخش کشاورزی از اولویت‌های مهم مورد توجه کشورها بوده و نقش و اهمیت کارایی محیط‌زیستی همواره مورد تأکید بوده است. در این راستا، مطالعه حاضر با توجه به مزیت نسبی اقتصادی استان خوزستان و با هدف تعیین کارایی محیط‌زیستی- اقتصادی، کارایی عملیاتی و کارایی محیط‌زیستی محصولات عمده زراعی با استفاده از تلفیق مدل بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری و تحلیل پوششی داده‌ها انجام گرفت. داده‌های مورد نیاز با تکمیل پرسشنامه از کشاورزان مناطق گتوند، عقیلی و دیمچه استان خوزستان و با روش نمونه‌گیری تصادفی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ جمع‌آوری گردید. نتایج نشان داد، یونجه‌کاران منطقه گتوند با کسب امتیاز در محدوده ۸۹-۸۱ و ۹۶-۹۰ درصد به‌ترتیب بالاترین میزان کارایی محیط‌زیستی و محیط‌زیستی-اقتصادی را به خود اختصاص دادند. در منطقه عقیلی، محصول برنج بالاترین میزان کارایی عملیاتی به ازای سطوح مختلف احتمال انحراف در محدوده ۸۷-۷۷ درصد، کارایی محیط‌زیستی در محدوده ۹۰-۸۰ درصد و کارایی محیط‌زیستی-اقتصادی در محدوده ۹۵-۸۷ درصد را کسب نمود. در منطقه دیمچه، محصول نیشکر بالاترین میانگین انواع کارایی را به ازای سطوح مختلف احتمال انحراف با کسب امتیازات در محدوده ۷۸ تا ۹۰، ۸۰ تا ۸۹ و ۸۷ تا ۹۵ به‌ترتیب برای کارایی عملیاتی، محیط‌زیستی و محیط‌زیستی-اقتصادی را به خود اختصاص داد. به طور کلی، میانگین کارایی عملیاتی در همه سطوح احتمال برای محصولات مورد بررسی در مناطق گتوند، عقیلی و دیمچه به استثنای (لوبیا در منطقه گتوند)، کمتر از میانگین کارایی محیط‌زیستی برآورد گردید. این امر، بیانگر عدم قابلیت‌ها و مهارت‌های کشاورزان در به کارگیری میزان مناسب نهاده‌ها جهت تولید محصولات کشاورزی بوده، در حالی‌که کشاورزان مناطق مورد بررسی، بر مسائل محیط‌زیستی تمرکز بیشتری دارند. لذا پیشنهاد می‌شود در زمینه به کارگیری مناسب نهاده‌های تولید، آموزش‌های ترویجی صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌های استوار، خوزستان، ستاده نامطلوب، کارایی عملیاتی، نهاده نامطلوب

مقدمه

ارتباط بین توسعه اقتصادی و محیط‌زیست از جمله مهمترین مسائل پیش‌رو در جوامع شناخته شده است. چنانچه در بستر توسعه پایدار، فعالیت‌های اقتصادی و محیط‌زیستی به‌صورت توأمان در نظر گرفته سود، محیط‌زیست و توسعه اقتصادی دو عامل مکمل یکدیگر بوده و در نتیجه، تعادل و توازن اکولوژیکی را به‌دنبال خواهد داشت (Kazemi *et al*., 2016; Besharatdeh *et al*., 2019). همچنین اقتصاد و محیط‌زیست از طریق دو جریان با یکدیگر در ارتباط هستند. از یک سو، منابع تجدیدپذیر و پایان‌پذیر از محیط‌زیست به سوی اقتصاد انتقال می‌یابند و از سوی دیگر، اغلب پسماندهای محصولاتی که به وسیله فعالیت‌های اقتصادی تولید می‌شوند، در حال حرکت از اقتصاد به

۱ و ۲- دانشیاران گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
(*- نویسنده مسئول: (Email: m.mardani@asnrukh.ac.ir
۳- مدرس گروه حسابداری و اقتصاد دانشگاه بزرگمهر قائنات و تربت حیدریه

https://doi.org/10.22067/jead.2023.78856.1158

محیطزیست هستند. زمانی‌که جریان مواد و ضایعات از ظرفیت و قابلیت واقعی تجاوز نماید، ظرفیت منابع طبیعی و محیطزیست کاهش می‌یابد. جریان سریع منابع پایان‌پذیر به درون چرخه اقتصادی می‌تواند به تخلیه سریع ذخیره این دسته از منابع منجر شود (Barghi *et al*., 2016; Mardani Najafabadi *et al*., 2020). هنگامی که جریان منابع تجدیدپذیر نیز به‌سوی چرخه اقتصادی، از نرخ تجدیدپذیری و احیای این منابع تجاوز کند، باعث کاهش بهره‌وری منابع شده و احتمال نابودی آن‌ها افزایش می‌یابد. از این‌رو، لزوم رسیدن به سود بیشتر در کنار اهمیت به مسائل محیطزیستی و توسعه پایدار سبب شده است تا ضمن تعریف مفهوم کارایی محیطزیستی–اقتصادی و محیطزیستی، استفاده از آن به‌عنوان شاخص مناسبی به‌منظور ارزیابی پایداری نظام‌های تولید کشاورزی مورد توجه قرار گیرد (Boucekkine *et al*., 2011).

به‌دلیل اینکه بخش کشاورزی بیشترین و نزدیکترین ارتباط را با محیطزیست دارا بوده و همچنین بخش عمده‌ای از آلودگی‌های محیط زیستی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد، لذا تکنولوژی‌های نوین دامنه اثرات منفی کشاورزی بر محیطزیست را کاهش داده‌اند (Taate *et al*., 2013). مطابق آمار سازمان محیطزیست، در سال ۱۳۹۸ ایران رتبه ۱۱۶ را در مصرف کود شیمیایی در بین کشورهای جهان به‌خود اختصاص داده است. در ایران به‌ازای هر هکتار زمین کشاورزی، ۸۹ کیلوگرم کود شیمیایی مصرف می‌شود. در حالی‌که، میانگین جهانی مصرف کود شیمیایی ۱۰۱ کیلوگرم در هکتار است (Department of Environment, 2019). همچنین، طبق آمار رسمی وزارت جهاد کشاورزی، میزان مصرف سموم شمیایی از ۱۹۳ هزار لیتر در سال ۱۳۹۹ به ۳۸۳ هزار لیتر در سال ۱۴۰۰ رسیده است. مصرف بیش از حد کودها و سموم شیمیایی، علاوه بر افزایش فرسایش خاک و آلودگی منابع آب، کیفیت محصولات را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. در استان خوزستان، بخش وسیعی از اراضی کشاورزی در محدوده رودخانه‌های دز و کارون و در بخش جلگه‌ای منطقه که از دیرباز به‌عنوان قطب بزرگ کشاورزی در کشور مطرح بوده، واقع شده است. گستردگی حجم فعالیت‌های کشاورزی در این منطقه، بر حجم بار آلودگی آب و خاک این منطقه افزوده است (Hosseni Zare *et al*., 2016). با توجه به این موارد و از آن‌جا که بر اساس گزارش سازمان برنامه و بودجه استان خوزستان، میزان مصرف کودها و سموم شیمیایی در اراضی تحت پوشش آبیاری و زهکشی گتوند در سال ۹۹–۱۳۹۸، حدود ۳/۶ برابر متوسط مصرف نهاده‌ها در ایران است (Reports of program organization, 2016)، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی کارایی عملیاتی، محیطزیستی و محیطزیستی–اقتصادی محصولات عمده اراضی پایاب شبکه‌های آبیاری و زهکشی گتوند انجام شده است. برای این منظور، از تلفیق مدل‌های بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری و تحلیل پوششی داده‌ها برای محصولات زراعی مناطق گتوند، دیمچه و عقیلی استفاده گردید.

هرچند در زمینه بررسی و ارزیابی شاخص کارایی محیطزیستی–اقتصادی در تولید محصولات کشاورزی، پژوهش‌های مختلفی انجام گرفته، اما تنها معدودی از مطالعات به برآورد کارایی محیطزیستی مبادرت نموده‌اند (Nabavi-Pelesaraei *et al*., 2016; Mardani and Taki, 2020). در پژوهشی به‌منظور بهینه‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم، میزان بهینه انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم در شهر اهواز را ۳۴۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه نمودند. (Karimi *et al*., 2012) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به تعیین کارایی تولید گندم در ۸ استان بزرگ کشور پرداختند. برای اعمال شرایط عدم اطمینان در داده‌های ورودی و خروجی، از روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای (IDEA)[1] استفاده گردید. (Mardani *et al*., 2011) کارایی مزارع گندم سیستان را با استفاده از روش تلفیق مدل بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل کننده (RDEA) برآورد کردند. نتایج مطالعه نشان داد که میانگین کارایی مزارع نمونه در مدل پیشنهادی، در سطح ثابت عدم اطمینان معین و با افزایش میزان احتمال هر محدودیت از کران خود (P)، کاهش می‌یابد. در پژوهشی دیگر، ماسودا (Masuda, 2016) بررسی کارایی محیطزیستی–اقتصادی تولید گندم در ژاپن نشان داد که کاهش آفت‌های گندم ناشی از استفاده بیش از حد کود نیتروژن عامل مهمی در کارایی اقتصادی تولید گندم و در نتیجه توسعه کشت پایدار گندم در ژاپن بود. به‌عبارتی، در فرآیند تولید در کنار محصول خوب (ستاده مطلوب)، محصول بد (ستاده نامطلوب) نظیر نیتروژن، فسفر و سایر آلاینده‌ها تولید می‌شود. فورلئو و همکاران (Forleo *et al*., 2018) با استفاده از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان شاخص اندازه‌گیری اثرت محیطزیستی، به اندازه‌گیری کارایی محیطزیستی–اقتصادی کلزا و آفتابگردان برای یک مگاژول از زیست‌توده به‌عنوان ارزش‌افزوده مبادرت نمودند. نتایج نشان داد که مقادیر کارایی محیط زیستی–اقتصادی مزارع آفتابگردان بیشتر از کلزا بود. در پژوهشی دیگر، اوزالپ و همکاران (Ozalp *et al*., 2018) متوسط مقدار کربن دی-اکسید منتشر شده در تولید انار در آنتالیای ترکیه ۸۸/۱ کیلوگرم کربن دی‌اکسید در هکتار در تولید انار گزارش شد که نهاده‌های الکتریسیته و کودهای شیمیایی بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه‌ای داشتند. در حال حاضر، توجه به محیطزیست، یکی از مؤلفه‌های اصلی در سیاست‌های کلان جهانی بوده که بسیاری از مؤلفه‌های دیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا، مهمترین عامل و پیش‌نیاز بسیاری از فعالیت‌ها در سطح کلان، سازگاری با محیطزیست است (Beshartadeh *et al*., 2021). بنابراین هدف پژوهشگران در این زمینه، کمینه کردن یا حذف پیامدهای جانبی منفی برای دست‌یابی به

1- Interval Data Envelopment Analysis

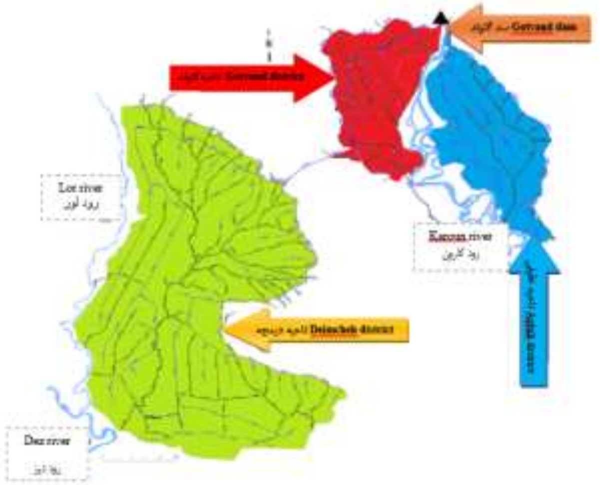
محیطزیست پاک برای نسل‌های آینده با هدف افزایش بهره‌وری و کارایی با استفاده از فناوری‌های نوین می‌باشد (Nikkhah *et al*., 2015). در بخش کشاورزی، کودها و سموم شیمیایی مهمترین نهاده هایی هستند که در صورت مدیریت نامناسب مصرف آن‌ها، آلودگی زیست‌محیطی در بخش کشاورزی را به‌دنبال دارند. بررسی مطالعات گذشته، نشان داد که در اکثر آن‌ها، اثر ستاده نامطلوب در کنار ستاده مطلوب محاسبه شده است. در مطالعه حاضر، با رویکردی متفاوت از سایر مطالعات انجام شده، نهاده‌های نامطلوب (کود، سموم شیمیایی و غیره) در کنار نهاده‌های مطلوب (مانند، آب، نیروی کار و غیره) در برآورد کارایی محیطزیستی مورد بررسی قرار گرفت. قابل ذکر است که به‌کارگیری کودها و سموم شیمیایی را نمی‌توان تماماً نهاه نامطلوب تلقی نمود. این نهاده‌ها فقط در صورتی که منجر به افزایش خروجی های نامطلوبی چون نیترات و غیره شوند، تماماً نامطلوب به شمار می-روند.

مواد و روش‌ها

در این بخش ابتدا به معرفی منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود. سپس مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار که برای اعمال شرایط عدم اطمینان بکار می‌رود، معرفی شده است. بعد از آن، مدل اصلی DEA که برای تفکیک کارایی عملیاتی و زیست‌محیطی است معرفی می‌گردد. در نهایت، جامعه آماری و روش نمونه‌گیری معرفی شده است.

شبکه آبیاری و زهکشی گتوند در جنوب غربی ایران در استان خوزستان واقع شده است. این شبکه، جهت آبیاری اراضی واقع در سه منطقه گتوند، عقیلی و دیمچه، محصور بین دو رودخانه کارون و لور طراحی گردیده است (شکل ۱). کل اراضی تحت پوشش این شبکه ۴۳۹۳۰ هکتار بوده و به‌طور خالص، ۳۴۱۴۴ هکتار در بیش از ۴۳۰۰ قطعه زمین از آن استفاده می‌کنند (Agricultural, 2019). مناطق گتوند و عقیلی آب آبیاری مورد نیاز خود را از سد گتوند که روی رودخانه کارون احداث گردیده، دریافت می‌نمایند. بیشترین میزان زیرساخت این شبکه آبیاری و زهکشی، در منطقه دیمچه واقع است. منطقه دیمچه علاوه بر سد گتوند، به‌طور مستقیم توسط چند سد انحرافی از رودخانه لور که انشعابی از رودخانه دز است نیز تغذیه می‌نماید (Reports of program organization, 2016).

براساس گزارشات سازمان برنامه و بودجه استان خوزستان، میزان م صرف کودها و سموم شیمیایی در ارا ضی تحت پو شش آبیاری و زهک شی گتوند در سال ۹۹-۱۳۹۸ معادل ۳/۶ برابر متو سط م صرف نهاده ها در ایران اســـت (Reports of program organization, 2016). بنابراین، مازاد آب‌آبیاری در این شـــبکه توســـط زهکش‌های تعبیه شـــده به رودخانه‌ها بازگشـــته و باعث آلوده شـــدن آب در پایین دســـت شـــبکه می‌گردد (Reports of program organization, 2016). از این‌رو، با توجه به اینکه حفاظت از محیطزیســـت ازجمله مهمترین ابعاد توسعهٔ پایدار است، لذا بررسی آثار ناشی از کاربرد سموم و کودهای شیمیایی در کشاورزی و معرفی راهکارهایی به‌منظور بهبود کارایی محیطزیست در منطقه مورد مطالعه، جزو ضروری‌ترین مسائل در منطقه مطرح گردیده است.



شکل ۱- شماتیک کلی شبکه آبیاری و زهکشی گتوند
Figure 1- General schematic of irrigation and drainage network of Gotvand

از آن‌جا که فعالیت‌های کشاورزی در شرایط نامطمئن محیطزیستی انجام می‌شود، لذا در رابطه با نهاده‌ها و ستاده‌ها عدم قطعیت‌هایی وجود دارد. عدم قطعیت موجود در برخی از داده‌ها به‌عنوان نهاده و ستاده مؤثر در رتبه‌بندی مدل‌ها و دقیق نبودن نتایج حاصل از محاسبه مدل، ضرورت به کارگیری عدم قطعیت را در بخش کشاورزی آشکارتر می‌سازد. از این‌رو، در مطالعه حاضر به‌منظور لحاظ شرایط عدم قطعیت، از مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار (RDEA)[1] که یکی از مدل‌های بسیار قوی و مفید در شرایط عدم حتمیت است، بهره گرفته شد.

ادغام مدل‌های برنامه‌ریزی استوار با مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها، یکی از مهمترین روش‌های اعمال شرایط عدم حتمیت جهت دست‌یابی به نمرات کارایی پایدار و رتبه‌بندی قابل اطمینان بوده که مورد استقبال پژوهشگران قرار گرفته است (Ohadi *et al*., 2020). از جمله مزایای کاربرد این روش، می‌توان به دستیابی به نتایج بهینه نقطه‌ای بدون نیاز به آگاهی از توزیع داده‌ها اشاره کرد.

تحلیل پوششی داده‌های استوار (RDEA)

1- Robust Data Envelopment Analysis

با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیر که ارزش نهاده‌ها و ستاده‌های مبهم آن‌ها به‌ترتیب با مجموعه‌های J_j^x و J_j^y نشان داده می‌شود، می‌توان پارامترهای γ_j^x و γ_j^y را به گونه‌ای تعریف نمود که بتوانند مقادیری را در فواصل محدود $\left[0, J_j^x\right]$ و $\left[0, J_j^Y\right]$ اختیار نمایند. این پارامترها از این جهت که مدل DEA را در برابر تغییرات ناشی از شرایط عدم حتمیت در داده‌های ورودی و خروجی استوار می‌سازند، دارای اهمیت هستند. مدل عمومی RDEA در رابطه (۱) ارائه شده است (Shokouhi *et al.*, 2010).

$$
\begin{aligned}
\max \quad & \theta_p = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rp}^{U} - \beta_p^{y}, \\
s.t \quad & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{iP}^{L} + \beta_P^{X} = 1 \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{L} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^{U} + \beta_j^{y} + \beta_j^{X} \le 0, \quad \forall j \ne p, \\
& \theta_P \le 1,
\end{aligned}
\tag{۱}
$$

که دو متغیر $\beta_j^y\left(y,\gamma_j^y\right)$ و $\beta_j^x\left(x,\gamma_j^x\right)$ جهت اعمال شـــرایط عدم اطمینان در مدل DEA مورد اســـتفاده قرار گرفته‌اند (Despotis *et al.*, 2006). همچنین، θ بیانگر مقیاس کارایی، y_{rj} مقدار خروجی (محصول) کنترل شده r برای واحد زراعی j و x_{ij} مقدار ورودی (نهاده) کنترل شده i در واحد زراعی j می‌با شد. مدل نهایی RDEA در رابطه ۲ آمده است.

$$
\begin{aligned}
\max \quad & \theta_p = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rp}^{U} - z_p \gamma_p^{y} - \sum_{r=1}^{s} P_{rp}, \\
s.t \quad & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{iP}^{L} + z_p \gamma_p^{x} - \sum_{r=1}^{m} q_{ip} = 1 \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{L} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^{U} + z_j \Gamma_j + \sum_{r=1}^{s} P_{rj} + \sum_{r=1}^{m} q_{ij} \le 0 \qquad \forall j \ne p, \\
& z_j + p_{rj} \ge u_r\left(y_{rj}^{U} - y_{rj}^{L}\right), \quad \forall r, j \\
& z_j + q_{ij} \ge v_i\left(x_{rj}^{U} - x_{rj}^{L}\right), \quad \forall i, j \\
& \theta_p \le 1, \\
& v_i, u_r \ge \varepsilon, \quad \forall i, r \\
& z_j, q_{ij}, p_{rj} \ge 0, \quad \forall i, j, r
\end{aligned}
\tag{۲}
$$

که Z، y و P متغیرهای اضافی غیرمنفی برای لحاظ عدم حتمیت در مدل هستند. در مدل بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل کننده میزان محافظه‌کاری، دو جمله اضافی نسبت به حالت استاندارد برنامه‌ریزی خطی وجود دارد ($(Z_i\Gamma_i + \sum_{r=1} P_{rj})$). شایان ذکر است که محاسبه پارامتر Γ_i براساس سطح احتمال انحراف هر محدودیت از کران خود و تعداد منابع عدم حتمیت در این محدودیت محاسبه می‌شود (Mardani Najafabadi and Abdeshahe, 2018).

رویکرد تحلیل پوشـــشـــی داده ها در ارزیابی کارایی محیطزیستی-اقتصادی

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)[۱] یکی از مهمترین روش‌های ناپارامتریک است که با کمک برنامه‌ریزی خطی به تعیین کارایی آن دسته از واحدهای تصمیم‌گیر که دارای ستانده‌ها و نهاده‌های مشابهی هستند، می‌پردازد و هیچگونه فرض اولیه‌ای مبنی بر ارتباط تبعی بین نهاده‌ها و ستاده‌ها را در نظر نمی‌گیرد. از آن‌جا که تمام ارقام و اطلاعات پوشش می‌دهد، به آن تحلیل فراگیر داده‌ها اطلاق می‌شود. مبدأ این روش به مطالعه فارل در سال ۱۹۵۷ بر می‌گردد و بر اساس رهیافت فارل، (Charles and Cooper, 1962) اولین مدل برنامه‌ریزی خطی DEA برای محاسبه کارایی با بازده ثابت نسبت به مقیاس را توسعه داد (Besharatdeh *et al.*, 2019).

مدل‌های سنتی DEA در صورت وجود متغیرهای مهمی که تأثیری منفی بر محیطزیست دارند، قادر به ارائه نتایج دقیق نیستند. یکی از شاخص‌هایی که می‌توان با بهره‌گیری از آن به طور همزمان، کارایی عملیاتی و محیطزیستی را اندازه‌گیری نمود، کارایی محیط زیستی- اقتصادی است که برای اندازه‌گیری آن از مدل DEA اصلاح شده بهره گرفته می‌شود.

کارایی عملیاتی

کارایی عملیاتی بر اساس نسبت خروجی‌ها به ورودی‌ها در یک سیستم محاسبه می‌شود. بنابراین با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس CRS و با وجود ورودی‌های عملیاتی x_{ij} (i = 1, …m) و خروجی y_{rj} (r = 1,…s) برای هر واحد تصمیم گیرنده[۲] یا به عبارتی کارایی عملیاتی DMUj (j = 1, …n) از طریق رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Charles and Cooper, 1962).

1- Data Envelopment Analysis

2- Decision-Making Unit

$$\max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}$$
$$s.t.$$
$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \qquad (۳)$$
$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0} = 1$$
$$v_i \ge 0$$
$$u_r \ge 0$$

اگر در رابطه بالا مقدار بهینه برابر با یک باشد، واحد تحت بررسی کاملا کارا و روی مرز کارایی قرار دارد.

کارایی محیطزیستی

کارایی محیطزیستی و محیطزیستی- اقتصادی به معنی افزایش ستاده با مصرف بهینه نهاده می‌باشد. به عبارتی، کارایی محیطزیستی و محیطزیستی- اقتصادی بیانگر استفاده بهینه از منابع، هزینه‌ها و در نهایت، کاهش اثرات محیطزیستی می‌باشد. چنانچه فعالیت‌های اقتصادی از کارایی محیطزیستی لازم برخوردار نباشند، دستیابی به توسعه پایدار با مشکل مواجه خواهد شد (Kazemi *et al*., 2016). به طور کلی، کارایی محیطزیستی ملاک سنجش کارایی تولید است. کارایی زیست‌محیطی بر اساس نسبت خروجی‌ها به ورودی‌های زیست‌محیطی محاسبه می‌شود (Lertworasirikul *et al*., 2003). اگر فرض شود p ورودی محیطزیستی $(k = 1,\dots,p)$، z_{kj} برای هر DMU_j $(j = 1, \dots, n)$ وجود دارد. کارایی محیطزیستی بر اساس رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$\max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} \qquad (۴)$$
$$s.t.$$
$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{k=1}^{p} w_k z_{kj} \le 0$$
$$\sum_{k=1}^{p} w_k z_{k0} = 1$$
$$w_k \ge 0$$
$$u_r \ge 0$$

کارایی محیطزیستی-اقتصادی

کارایی محیطزیستی-اقتصادی دربرگیرنده کارایی عملیاتی و محیطزیستی است. ارتقا و بهبود کارایی اقتصادی نیز بهبود منابع مالی یا درآمد خالص برای بهبود کیفیت محیطزیست را به‌دنبال دارد (Forleo *et al*., 2018). در این راستا، شاخص کارایی محیطزیستی-اقتصادی در تولید محصولات کشاورزی به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای ارزیابی پایداری تولید محصولات مورد بررسی قرار گرفت. این شاخص از طریق نسبت مجموع وزنی خروجی‌ها به مجموع وزنی ورودی‌ها (ورودی‌های عملیاتی+ ورودی‌های محیطزیستی) براساس رابطه (۵) محاسبه گردید. δ بیانگر درجه حساسیت محیطزیستی بوده و هر چه مقدار آن کوچکتر باشد، نشان‌دهنده بهتر بودن کارایی عملیاتی است. در مقابل، هر چه δ بزرگتر باشد، دلالت بر حساسیت بیشتر نسبت به محیطزیست است. مقدار اولیه این پارامتر بسته به حساسیت تصمیم‌گیرندگان نسبت به مسایل زیست‌محیطی تعیین می‌شود. به‌عبارت دیگر، این پارامتر یک موازنه بین حساسیت این تصمیم‌گیران نسبت به موازنه کارایی زیست‌محیطی و عملیاتی ایجاد می‌نماید. البته می‌توان در مدل‌های دارای عدم اطمینان این پارامتر را طوری در نظر گرفت که سهم یکسانی (مقدار ۰/۵) برای هر دو نوع کارایی مد نظر قرار دهد و به‌عنوان یک منبع عدم اطمینان لحاظ نمود (Han *et al*., 2015). به این طریق می‌توان یک تحلیل حساسیت از به صورت ضمنی ایجاد کرد. در مطالعه حاضر نیز با این علت که مدل RDEA مورد کاربرد قرار گرفته است، این مورد بکار گرفته شده است. با افزودن این محدودیت به مدل اصلی، می‌توان شدت آلودگی را به‌صورت متوالی در نظر گرفت. بنابراین، این محدودیت‌ها به‌عنوان محدودیت‌های دقیق محیطزیستی بیان می‌شوند.

$$\max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}$$
$$s.t.$$
$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} - \delta \sum_{k=1}^{p} w_k z_{kj} \le 0 \qquad (۵)$$
$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0} + \delta \sum_{k=1}^{p} w_k z_{ko} = 1$$
$$v_i \ge 0$$
$$u_r \ge 0$$
$$w_k \ge 0$$

جامعه‌ی آماری مورد مطالعه کشاورزان مناطق گتوند، عقیلی و دیمچه در استان خوزستان که بیشترین سطح زیرکشت هر محصول را دارا بودند، به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. داده‌های مورد نیاز از طریق تکمیل پرسشنامه از بین کشاورزان با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی با انتساب متناسب برای هر منطقه در سال ۹۹-۱۳۹۸ جمع آوری گردید. به‌عبارت دیگر، با توجه به مشخص بودن هر منطقه و

همچنین نیاز به نمونه جداگانه، برای هر منطقه به‌صورت جداگانه از فرمول کوکران استفاده شد. محصولات مورد بررسی در منطقه گتوند شامل یونجه، لوبیا، باقلا، برنج، سبزیجات و گندم در منطقه عقیلی محصولات برنج، سبزیجات، گندم و در منطقه دیمچه ذرت، نیشکر و گندم بودند.

نوع سوالات پرسشنامه بر اساس متغیرهای ورودی و خروجی مورد نیاز برای مدل RDEA تنظیم شد. متغیرهای مورد استفاده در محاسبه کارایی عملیاتی و کارایی محیط‌زیستی در جدول ۱ آمده‌اند. قابل ذکر است که نهاده انرژی و خروجی نامطلوب انتشار گاز CO_2، از طریق انجام محاسبات معادل این متغیرهای حاصل خواهند شد (Mardani Najafabadi and Abdeshahe, 2018).

جدول ۱- تجزیه متغیرهای ورودی در اندازه‌گیری کارایی محیط‌زیستی-اقتصادی

Table 1- Analysis of input variables in measuring environmental-economic efficiency

کارایی عملیاتی Operational efficiency	نهاده‌های سنتی Traditional inputs	نیروی کار، ماشین آلات، آب، بذر Labor, machinery, water, seeds
	نهاده‌های انرژی‌زا Energy inputs	سوخت دیزلی، انرژی الکتریکی Diesel fuel, electrical energy
کارایی محیط‌زیستی Environmental efficiency	کود Fertilizer	پتاس، نیتروژن، فسفات Potash, nitrogen, phosphate
	سموم Pesticides	علف‌کش، حشره‌کش، قارچ‌کش Herbicide, insecticide, fungicide
	خروجی نامطلوب (انتشار مستقیم گازهای گلخانه‌ای) Undesirable output (direct emission of greenhouse gases)	انتشار گاز CO_2 CO_2 emissions

ماخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

نتایج و بحث

با توجه به نتایج به دست آمده از توصیف آماری متغیرهای در جدول ۲، ملاحظه می‌گردد که در منطقه گتوند از بین محصولات مورد مطالعه، بیشترین مصرف نهاده آب با ۱۲۷۹۳ متر مکعب در هکتار و نیروی‌کار با ۵۸ نفر به محصول یونجه اختصاص دارد. از نظر مصرف کودهای شیمیایی، سبزیجات با میانگین مصرف ۶۳ کیلوگرم پتاس در هکتار، گندم با میانگین مصرف ۴۵۲ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و یونجه با مصرف متوسط ۲۴۱ کیلوگرم فسفات در هکتار، بیشترین میزان مصرف کود شیمیایی را دارا هستند. برنج با مصرف متوسط ۱، ۰/۶۸ و ۰/۵۳ لیتر در هکتار به‌ترتیب برای علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش، بالاترین مقدار مصرف سموم شیمیایی را داراست. سبزیجات با انتشار ۳۹۶۸۵ کیلوگرم گاز CO_2 در هکتار، بالاترین مقدار انتشار ستانده نامطلوب را در بین محصولات مختلف به خود اختصاص داده است. اگرچه سبزیجات بیشترین میزان آلودگی خاک و آب را در بین محصولات دارا بودند، اما از مزایای کشت آن‌ها این است که CO_2 هوا را جذب نموده و در فرآیند ترسیب کربن نیز نقش اساسی ایفا می‌نمایند. به این دلیل، توجیه قطعی بر نامطلوب بودن این ستاده نیست. به‌عبارتی، با توجه به هدف مطالعه، ستاده نامطلوب از جنبه‌ای دیگر می‌تواند ستاده مطلوب به شمار رود.

براساس نتایج جدول ۳، در منطقه عقیلی، سبزیجات بیشترین میزان متوسط مصرف نهاده‌ها را به خود اختصای داده‌اند. به‌طوری‌که، میانگین مصرف آب ۹۴۲۱ متر مکعب در هکتار، انرژی الکتریکی ۲۷۴۰ کیلووات ساعت در هکتار، پتاس ۶۲ کیلوگرم در هکتار، فسفات ۱۴۹ کیلوگرم در هکتار و انتشار گاز دی اکسید کربن معادل ۳۹۳۷۴ کیلوگرم در هکتار برآورد است. همچنین گندم با میانگین مصرف ۲۹ نفر نیروی کار، ۱۲۲ لیتر در هکتار سوخت دیزل، ۹۵ کیلوگرم بذر در هکتار ۴۴۸ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۱ لیتر در هکتار علف‌کش، بیشترین میانگین در مصرف این دسته از نهاده‌ها را دارد. محصول برنج با میانگین مصرف علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش به‌ترتیب برابر با ۱، ۰/۶۷ و ۰/۶۲ لیتر در هکتار بیشترین میانگین مصرف سموم شیمیایی را به خود اختصاص داده است. به‌طور کلی، لازم است که در کشت این محصولات با توجه کارایی محیط‌زیستی و اقتصادی بودن محصول به لحاظ صرف هزینه، تجدید نظر شود. در منطقه عقیلی، محصول برنج در بین سایر محصولات از کارایی محیط‌زیستی مطلوبی برخوردار نبود. به‌عبارت دیگر، میزان ستاده نامطلوب محصول برنج در این منطقه نسبت به سایر محصولات بیشتر بوده و نشان‌دهنده افزایش کارایی عملیاتی نسبت به کارایی محیط-زیستی می‌باشد.

جدول ۲- توصیف آماری متغیرهای مطالعه در منطقه گتوند

Table 2- Statistical description of study variables in the Goutvand region

محصول Product	آماره Statistics	گاز CO_2 CO_2 gas (kg)	قارچ‌کش Fungicide (liter)	حشره‌کش Nsecticide (liter)	علف‌کش Herbicide (liter)	فسفات Phosphate (kg)	نیتروژن Nitrogen (kg)	پتاس Potassium (kg)	بذر Seeds (kg)	انرژی الکتریکی Electric energy (kWh)	سوخت دیزلی Diesel fuel (liters)	نیروی کار Labor (people)	ماشین‌آلات Machinery (hours)	آب Water (cubic meter)
یونجه Alfalfa	حداکثر Max	28698	0.1	0.98	0.97	424	29	29	129	2838	40	83	51	**18274**
	حداقل Min	20249	0	0	0	74	6	6	50	0	10	33	19	**7590**
	میانگین Average	24297	0.05	0.44	0.55	241	17	17	90	1199	24	58	36	**12793**
	انحراف معیار Standard deviation	2602	0.03	0.3	0.27	112	7	7	23	998	9	16	10	**3233**
لوبیا Beans	حداکثر Max	17755	0	0.01	0	202	305	0	120	4824	50	50	48	**9540**
	حداقل Min	11025	0	0	0	95	127	0	41	0	10	25	30	**6337**
	میانگین Average	14416	0	0.004	0	147	214	0	81	2537	31	38	40	**7946**
	انحراف معیار Standard deviation	1982	0	0.002	0	33	56	0	24	1304	13	8	5	**1036**
باقلا Beans	حداکثر Max	21523	0.1	0.01	0	78	41	82	90	2783	40	39	46	**7918**
	حداقل Min	15097	0.005	0	0	42	12	12	40	0	10	19	19	**7924**
	میانگین Average	18218	0.05	0.005	0	60	26	50	64	1179	25	29	28	**4589**
	انحراف معیار Standard deviation	1840	0.03	0.003	0	11	9	22	16	964	9	6	6	**6158**
برنج Rice	حداکثر Max	41669	2	2	2	138	586	12	121	4838	80	31	48	**9467**
	حداقل Min	26294	0	0	0.01	77	287	5	41	0	20	16	12	**6771**
	میانگین Average	34192	0.053	0.68	1	108	443	9	81	2652	49	24	29	**8114**
	انحراف معیار Standard deviation	4587	0.62	0.67	0.6	19	85	2	22	1178	17	5	11	**768**
سبزیجات Vegetale	حداکثر Max	45766	0.1	0.01	1	205	444	82	30	4838	120	39	39	**11492**
	حداقل Min	33033	0.001	0	0	96	253	44	10	0	50	19	19	**7264**
	میانگین Average	39685	0.05	0.005	0.59	150	355	63	20	2584	89	29	30	**9191**
	انحراف معیار Standard	3745	0.03	0.003	0/50	31	50	12	6	1407	21	6	6	**1320**

	deviation													
گندم Wheat	حداکثر Max	32729	0.5	0.99	2	138	588	12	121	3637	196	19	38	**5461**
	حداقل Min	19012	0.01	0	0.01	76	288	5	67	979	47	6	21	**3774**
	میانگین Average	25995	0.26	0.49	0.91	109	452	8	93	2319	126	12	29	**4643**
	انحراف معیار Standard deviation	4111	0.14	0.29	0.57	17	85	2	16	802	47	4	5	**488**

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ۳- توصیف آماری متغیرهای مطالعه در منطقه عقیلی

Table 3- Statistical description of study variables in the Aghili region

محصول Product	آماره Statistics	گاز CO_2 CO_2 gas (kg)	قارچ‌کش Fungicide (liter)	حشره‌کش Insecticide (liter)	علف‌کش Herbicide (liter)	فسفات Phosphate (kg)	نیتروژن Nitrogen (kg)	پتاس Potassium (kg)	بذر Seeds (kg)	انرژی الکتریکی Electric energy (kWh)	سوخت دیزلی Diesel fuel (liters)	نیروی کار Labor (people)	ماشین‌آلات Machinery (hours)	آب Water (cubic meter)
برنج Rice	حداکثر Max	41767	2	2	2	138	586	12	121	4820	79	31	48	**9476**
	حداقل Min	26028	0	0	0/1	76	290	5	41	0	20	16	12	**6775**
	میانگین Average	33717	0.62	0.67	1	108	444	9	86	2649	49	24	29	**8035**
	انحراف معیار Standard deviation	4833	0.62	0.67	0/58	18	87	2	22	1360	17	4	10	**822**
سبزیجات Vegetable	حداکثر Max	45585	0.1	0.01	1.1	203	443	82	30	4864	120	39	39	**11531**
	حداقل Min	32985	0.001	0	0	95	251	43	10	0	50	19	19	**7286**
	میانگین Average	39374	0.05	0.005	0.47	149	347	62	20	2740	83	29	29	**9421**
	انحراف معیار Standard deviation	3519	0.03	0.003	0.5	31	57	12	6	1398	19	6	6	**1221**
گندم Wheat	حداکثر Max	32680	0.49	1	2	138	587	12	121	3639	198	19	38	**5439**
	حداقل Min	19035	0	0.01	0.02	76	287	5	68	1013	46	6	21	**3770**
	میانگین Average	25895	0.24	0.49	1	109	448	7	95	2299	122	13	30	**4560**
	انحراف معیار Standard deviation	3779	0.13	0.28	0.58	18	87.9	2.3	15	748	47	47	5	**506**

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ٤- توصیف آماری متغیرهای مطالعه در منطقه دیمچه

Table 4- Statistical description of study variables in the Dimche region

محصول Product	آماره Statistics	گاز CO_2 CO_2 gas (kg)	قارچ‌کش Fungicide (liter)	حشره‌کش Insecticide (liter)	علف‌کش Herbicide (liter)	فسفات Phosphate (kg)	نیتروژن Nitrogen (kg)	پتاس potassium (kg)	بذر Seeds (kg)	انرژی الکتریکی Electric energy (kWh) Electric energy (kWh)	سوخت دیزلی Diesel fuel (liters)	نیروی کار Labor (people)	ماشین‌آلات Machinery (hours)	آب Water (cubic meter)
ذرت Maize	حداکثر Max	48662	1	1	0.96	150	80	12	200	2834	89	50	109	**18443**
	حداقل Min	20066	0.004	0.01	0.03	72	21	5	81	0	10	32	30	**7447**
	میانگین Average	33862	0.49	0.46	0.5	108	51	8	135	1219	45	42	69	**12677**
	انحراف معیار Standard deviation	8189	0.27	0.3	0.29	24	17	2	33	989	23	6	24	**33921**
نیشکر Sugar cane	حداکثر Max	95557	2	1	4	891	700	82	30	4860	120	39	80	**11511**
	حداقل Min	33012	0.01	0.01	0.04	98	251	43	10	0	50	19	19	**7334**
	میانگین Average	62211	1	0.52	2	498	479	62	20	2563	83	28	48	**9488**
	انحراف معیار Standard deviation	17019	0.58	0.29	0.96	235	136	12	6	1316	21	6	18	**1283**
گندم Wheat	حداکثر Max	62594	0.49	0.99	2	138	588	12	121	3646	196	19	38	**5479**
	حداقل Min	29015	0.01	0	0.05	76	288	5	67	1035	46	6	21	**3768**
	میانگین Average	47222	0.24	0.46	1	107	437	8	95	2301	106	13	30	**4646**
	انحراف معیار Standard deviation	10185	0.14	0.29	0.58	18	91	2	17	804	45	4	6	**497**

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

توصیف آماری متغیرهای منطقه دیمچه در جدول ۴ نشان داد که ذرت با متوسط مصرف ۱۲۶۷۷ متر مکعب آب در هکتار، ۶۹ ساعت ماشین‌آلات در هکتار، ۴۲ نفر نیروی کار و ۱۳۵ کیلوگرم در هکتار بذر و نیشکر با متوسط مصرف ۲۵۶۳ کیلووات ساعت در هکتار انرژی الکتریکی، ۶۲ کیلوگرم در هکتار پتاس، ۴۷۹ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۴۹۸ کیلوگرم در هکتار فسفات، ۰/۵۲ لیتر در هکتار علف‌کش، ۱ لیتر در هکتار قارچ‌کش و انتشار ۶۲۲۱۱ کیلوگرم در هکتار گاز دی اکسید کربن، بیشترین میانگین در مصرف این دسته از نهاده‌ها را دارا می‌باشند. به‌طور کلی، هر نهاده‌ای که به میزان بهینه استفاده نشود به یک نهاده نامطلوب تبدیل خواهد شد.

برآورد کارایی محیط‌زیستی – اقتصادی

پس از بررسی اولیه داده‌های ورودی و خروجی و تفکیک آن‌ها به نهاده‌های مطلوب و نامطلوب، به محاسبه مدل RDEA و تحلیل کارایی حاصل از اجرای این مدل پرداخته شد. به‌طوری‌که، با در نظر گرفتن نهاده‌های مطلوب شامل آب، نیروی کار، سوخت و سایر عوامل، کارایی عملیاتی برآورد گردید. سپس با در نظر گرفتن نهاده‌های نامطلوب از جمله کودهای شیمیایی، سموم کشاورزی و خروجی

نامطلوب گاز CO_2، به برآورد کارایی محیطزیستی پرداخته شد. پس از آن، با تلفیق نهاده‌های مطلوب و نامطلوب، کارایی محیطزیستی- اقتصادی برآورد گردید. در جداول (۵، ۶ و ۷) نتایج حاصل از برآورد کارایی عملیاتی، محیطزیستی و محیطزیستی- اقتصادی به‌ترتیب برای مناطق گتوند، عقیلی و دیمچه با استفاده از مدل RDEA در سطح عدم اطمینان ۰/۱، ۰/۵، ۰/۸ و ۱ و سطوح متفاوت P برای مزارع تحت بررسی ارائه شده است. بنابراین با افزایش انحراف هر محدودیت از کران خود (P)، سطح مطلوب نهاده یا ستاده تغییر می‌نماید.

شایان ذکر ا ست در سطح احتمال انحراف از محدودیت ۱، مدل RDEA تبدیل به مدل DEA متداول گردید. همان‌طور که در جداول (۵، ۶ و ۷) ملاحظه می‌شـود، در سـطح P=۱ (کمترین میزان حفاظت سـیسـتم در مقابل داده‌های غیردقیق و به‌عبارت دیگر مدل DEA)، میانگین نهاده‌های مورد اسـتفاده مزارع بیشـتر و میانگین سـتانده‌های حا صله کمتر از میانگین سطح مطلوب نهاده‌ها و ستاده‌ها ا ست. نتایج حاصـل از برآورد کارایی محیطزیسـتی- اقتصـادی با نتایج مطالعات مردانی نجف‌آبادی و ضیایی (Mardani Najafabadi and Ziaee., 2015; Mardani Najafabadi and Abdeshahe, 2018) مطابقت داشـت. همچنین نتایج نشـان داد به اسـتثنای لوبیا در منطقه گتوند، برای کلیه محصـولات در هر سـه منطقه و به ازای سـطوح مختلف احتمال انحراف، میانگین کارایی محیطزیستی بیشتر از کارایی عملیاتی بوده اسـت. این امر بیانگر عدم مهارت کافی کشـاورزان در تولید محصـولات مورد بررسـی بوده اسـت. به‌عبارت دیگر، نداشـتن و یا کم‌بودن دانش فنی کشاورزان در مدیریت استفاده از نهاده‌ها، به عنوان مهمترین علت پایین بودن کارایی عملیاتی می‌باشد.

نتایج برآورد میانگین کارایی در جدول ۵، نشان می‌دهد که بیشترین کارایی محیطزیستی و محیطزیستی- اقتصادی به یونجه‌کاران منطقه گتوند اختصاص دارد. متوسط کارایی محیطزیستی و محیطزیستی- اقتصادی به‌ترتیب از ۸۱ تا ۸۹ درصد و ۹۰ تا ۹۶ درصد در نوسان است. با توجه به اینکه میزان مصرف نهاده‌ها برای محصول یونجه در منطقه گتوند بیشتر از سایر محصولات بوده، این امر بیانگر عدم توجه کشاورزان به مسائل محیطزیستی یا به‌عبارتی، نادیده گرفتن اثرات محیطزیستی ناشی از مصرف بیش از حد نهاده‌ها بوده است. همچنین شالیکاران با کسب امتیاز کارایی در محدوده ۷۵ تا ۸۶ درصد، در سطوح مختلف احتمال انحراف، بالاترین سطح کارایی عملیاتی را به خود اختصاص داده‌اند که بیانگر قابلیت و مهارت شالیکاران منطقه گتوند در افزایش تولید برنج می‌باشد. در نهایت، کمترین میزان کارایی عملیاتی، محیطزیستی و محیطزیستی-اقتصادی در منطقه، متعلق به محصول لوبیا بوده است.

مطابق نتایج جدول ۶ برآورد متوسط کارایی در منطقه عقیلی نشان داد که بیشترین و کمترین میزان انواع کارایی به‌ترتیب متعلق به محصول برنج و گندم بوده است. به‌طوری‌که، برای محصول برنج به ازای سطوح مختلف احتمال انحراف، کارایی عملیاتی در محدوده ۷۷-۸۷ درصد، کارایی محیطزیستی در محدوده ۸۰-۹۰ درصد و کارایی محیطزیستی-اقتصادی در محدوده ۸۷ تا ۹۵ درصد متغیر است. این امر بیانگر توان بالای مدیریتی شالیکاران این منطقه در استفاده بهینه از نهاده‌ها بوده است. بنابراین، بدون تغییر در سطح تکنولوژی و با میزان نهاده موجود، می‌توان سطح فعلی محصول را تا رسیدن به مرز کارایی افزایش داد. کارایی عملیاتی، محیطزیستی و محیطزیستی- اقتصادی گندم‌کاران منطقه به‌ترتیب در محدوده ۶۷ تا ۷۹ درصد، ۷۰ تا ۸۱ درصد و ۷۷ تا ۸۶ درصد نوسان دارد. به‌عنوان مهمترین دلایل کاهش کارایی مدیریتی گندمکاران در منطقه عقیلی می‌توان به افزایش ضایعات، ضعف آگاهی کمباین‌داران و انبارداران، عدم آشنایی صحیح کشاورزان با اصول مدیریت آفات و اصول اولیه علمی کشت گندم، عدم هماهنگی بین زمان صحیح برداشت گندم و شرایط مناسب محصول گندم در مرحله برداشت، عدم آشنایی صحیح کشاورزان با اصول مبادله، بازاریابی و حمل و نقل صحیح محصول اشاره نمود.

نتایج میانگین کارایی منطقه دیمچه در جدول ۷ نشان داد که محصول نیشکر بالاترین میانگین انواع کارایی را به ازای سطوح مختلف احتمال انحراف با کسب امتیازات در محدوده ۷۸ تا ۹۰، ۸۰ تا ۸۹ و ۸۷ تا ۹۵ به ترتیب برای کارایی عملیاتی، محیطزیستی و محیطزیستی- اقتصادی به‌خود اختصاص داده است. این امر نشان‌دهنده استفاده بهینه تر کشاورزان از منابع موجود و توجه به مسائل محیطزیستی بوده است. کمترین میزان متوسط انواع کارایی منطقه دیمچه متعلق به محصول ذرت با کسب امتیازات در محدوده ۶۶ تا ۷۵، ۷۰ تا ۷۹ و ۷۹ تا ۸۵ به ترتیب برای کارایی عملیاتی، محیطزیستی و محیطزیستی- اقتصادی بوده است.

به‌طور کلی، چهار سطح متفاوت احتمال انحراف هر محدودیت از کران خود (p) برای بررسی تأثیر داده‌های غیردقیق بر نتایج مسئله مورد ارزیابی قرار گرفت. بیشترین سطح محافظه کاری در مناطق مورد بررسی در مقابل داده‌های نامطمئن در سطح P=۱ و کمترین آن در سطح P =۰/۱ می‌باشد. کارایی محیطزیستی- اقتصادی در سطوح ۰/۵ و ۰/۸ برای محصولات یونجه، لوبیا و باقلا در منطقه گتوند، سبزیجات در منطقه عقیلی و در نهایت دو محصول ذرت و گندم در منطقه دیمچه یکسان بود. بنابراین می‌توان نهاده‌های مورد استفاده را بدون کاهش در تولید محصول تا حد زیادی کاهش داد.

جدول ۵- نتایج برآورد میانگین انواع کارایی محصولات در منطقه گتوند

Table 5- The results of estimating the average efficiency of products in the Goutvand Region

سطوح احتمال انحراف انواع کارایی Deviation probability levels of efficiency types		P=1	P=0.8	P=0.5	P=0.1
	یونجه Maize				
کارایی عملیاتی Operational efficiency		0.86	0.76	0.74	0.73
کارایی محیطزیستی Environmental efficiency		0.89	0.83	0.82	0.81
کارایی محیطزیستی – اقتصادی Environmental-economic efficiency		0.96	0.91	0.91	0.90
	لوبیا Beans				
کارایی عملیاتی Operational efficiency		0.63	0.6	0.58	0.57
کارایی محیطزیستی Environmental efficiency		0.59	0.53	0.52	0.51
کارایی محیطزیستی– اقتصادی Environmental-economic efficiency		0.65	0.61	0.61	0.6
	باقلا Beans				
کارایی عملیاتی Operational efficiency		0.83	0.78	0.75	0.74
کارایی محیطزیستی Environmental efficiency		0.86	0.81	0.79	0.78
کارایی محیطزیستی– اقتصادی Environmental-economic efficiency		0.91	0.86	0.86	0.85
	برنج Rice				
کارایی عملیاتی Operational efficiency		0.86	0.79	0.76	0.75
کارایی محیطزیستی Environmental efficiency		0.87	0.8	0.78	0.77
کارایی محیطزیستی – اقتصادی Environmental-economic efficiency		0.95	0.90	0.89	0.88
	سبزیجات Vegetables				
کارایی عملیاتی Operational efficiency		0.84	0.76	0.74	0.72
کارایی محیطزیستی Environmental efficiency		0.85	0.76	0.75	0.73
کارایی محیطزیستی – اقتصادی Environmental-economic efficiency		0.91	0.83	0.82	0.81
	گندم Wheat				
کارایی عملیاتی Operational efficiency		0.78	0.71	0.68	0.67
کارایی محیطزیستی Environmental efficiency		0.83	0.77	0.75	0.73
کارایی محیطزیستی – اقتصادی Environmental-economic efficiency		0.88	0.81	0.8	0.79

مأخذ: یافتههای تحقیق

Source: Research findings

جدول ٦- نتایج برآورد میانگین انواع کارایی محصولات تحت مطالعه منطقه عقیلی

Table 6- The results of estimating the average efficiency of types of products under the study of the Aghili Region

سطوح احتمال انحراف انواع کارایی Deviation probability levels of efficiency types		P=1	P=0.8	P=0.5	P=0.1
کارایی عملیاتی Operational efficiency	برنج Rice	0.87	0.80	0.78	**0.77**
کارایی محیطزیستی Environmental efficiency		0.90	0.83	0.81	**0.80**
کارایی محیطزیستی - اقتصادی Environmental-economic efficiency		0.95	0.89	0.80	**0.87**
	سبزیجات Vegetables				
کارایی عملیاتی Operational efficiency		0.86	0.78	0.75	**0.74**
کارایی محیطزیستی Environmental efficiency		0.88	0.81	0.79	**0.78**
کارایی محیطزیستی - اقتصادی Environmental-economic efficiency		0.94	0.87	0.87	**0.86**
	گندم Wheat				
کارایی عملیاتی Operational efficiency		0.79	0.71	0.69	**0.67**
کارایی محیطزیستی Environmental efficiency		0.81	0.73	0.71	**0.70**
کارایی محیطزیستی - اقتصادی Environmental-economic efficiency		0.86	0.79	0.78	**0.77**

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر با توجه به اهمیت غلات بخصوص گندم، یونجه، ذرت و سایر محصولات مورد بررسی در مناطق گتوند، عقیلی و دیمچه استان خوزستان، به تعیین کارایی مزارع پرداخته شد. نوآوری این مطالعه ارائه روش تحلیل پوششی داده‌ها با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری (RDEA) بود. نتایج حل این مدل برای منطقه مورد مطالعه نشان داد که در سطوح ثابت عدم اطمینان معین و با افزایش میزان احتمال انحراف هر محدودیت از کران خود (P)، مقدار کارایی واحدهای تصمیم‌گیری کاهش می‌یابد. همچنین با کاربرد روش مذکور نسبت به روش DEA، نتایج قابل اعتمادتری در رابطه با کارایی به دست خواهد آمد. دلیل این امر انطباق قابل ملاحظه رتبه‌بندی در مدل DEA و RDEA است. بنابراین می‌توان از این روش برای برآورد مقدار کارایی واحدهای تصمیم‌ساز استفاده نمود.

نتایج محاسبه امتیازات کارایی در سطوح احتمال انحراف هر محدودیت از کران به میزان ۰/۱، ۰/۵، ۰/۸ و ۱ نشان داد که میانگین کارایی عملیاتی در تمام سطوح احتمال P، برای کلیه محصولات در هر سه منطقه به استثنای لوبیا در منطقه گتوند، پایین‌تر از میانگین کارایی محیطزیستی آن برآورد شده است. این امر نشان‌دهنده عدم قابلیت و مهارت کشاورزان برای تولید محصول مشخص با کمترین میزان به کارگیری نهاده توجیه‌پذیر بود. بنابراین در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران در راستای بهبود کارایی محیطزیستی محصولات، توصیه می‌شود که ساختارهای تولید و فناوری و به کارگیری هر چه بیشتر از فناوری‌های سازگار با محیطزیست به‌جای فناوری‌های مخرب و آلاینده مورد توجه ویژه قرار گیرد. همچنین در بخش های مختلف، جهت کاهش آلایندگی، نظارت دقیق‌تری بر فرآیند تولید محصول اعمال شود.

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

مقایسه نتایج کارایی عملیاتی و کارایی محیطزیستی بیانگر کم توجهی و عدم مهارت کافی کشاورزان در کاربرد صحیح و بهینه نهاده-های تولیدی بود. لذا ضروری است کلاس‌های آموزشی و ترویجی در راستای توانمندسازی کشاورزان جهت بهبود شیوه‌های تولید و مصرف

بهینه نهاده‌ها با هدف بهبود درآمد کشاورزان و افزایش سود آن‌ها برگزار شود. در این راستا، سازمان‌ها و دولت بایستی از طریق آموزش مروجان بومی و استقرار آن‌ها در منطقه، علاوه بر رفع مشکلات آموزشی و ترویجی کشاورزان، زمینه مشارکت کشاورزان در برنامه‌های ترویجی و انتقال تجربیات و ارتباط کشاورزان موفق در روش‌های مورد استفاده آنان برای سایر کشاورزان جهت کاهش ناکارایی در مدیریت مصرف نهاده‌ها و خسارات محیطزیستی ناشی از مصرف بیش از حد نهاده‌ها را فراهم آورد.

با توجه به اینکه بخش قابل توجهی از مصرف انرژی در بخش کشاورزی مربوط به سوخت‌های فسیلی و دیزلی است، بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش استفاده از انرژی‌های نو و کمتر آلاینده در جهت افزایش کارایی محیطزیستی، امری ضروری خواهد بود.

در راستای حفاظت از محیطزیست و افزایش عملکرد محصول، پیشنهاد می‌شود که دولت در کنار آموزش کشاورزان، در راستای توانمندسازی آن‌ها به استفاده بهینه از نهاده‌های شیمیایی با اتخاذ سیاست‌های حمایتی آنان را به سمت کشت محصولات ارگانیک سوق دهد.

جهت افزایش کارایی عملیاتی کشاورزان، می‌توان با استفاده از تکنولوژی موجود و استفاده مطلوب از تکنولوژی فعلی کارایی را تا رسیدن به مرز کارای تولید ارتقاء داد.

جدول ۷- نتایج برآورد میانگین انواع کارایی محصولات تحت مطالعه منطقه دیمچه

Table 7- The results of estimating the average efficiency of different types of products under the study of the Dimche region

سطوح احتمال انحراف انواع کارایی Deviation probability levels of efficiency types		P=1	P=0.8	P=0.5	P=0.1
	ذرت Maize				
کارایی عملیاتی Operational efficiency		0.75	0.68	0.67	0.66
کارایی محیطزیستی Environmental efficiency		0.79	0.73	0.71	0.70
کارایی محیطزیستی – اقتصادی Environmental-economic efficiency		0.85	0.8	0.8	0.79
	نیشکر Sugar cane				
کارایی عملیاتی Operational efficiency		0.90	0.82	0.79	0.78
کارایی محیطزیستی Environmental efficiency		0.89	0.83	0.80	0.80
کارایی محیطزیستی – اقتصادی Environmental-economic efficiency		0.95	0.90	0.89	0.87
	گندم Wheat				
کارایی عملیاتی Operational efficiency		0.81	0.74	0.72	0.70
کارایی محیطزیستی Environmental efficiency		0.87	0.81	0.80	0.79
کارایی محیطزیستی – اقتصادی Environmental-economic efficiency		0.91	0.85	0.85	0.84

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

منابع

1. Agricultural Jihad Organization, Khuzestan. (2019).
2. Barghi, H., Hosni-nejad, A., & Shayan, M. (2016). Evaluation of the effects of agricultural chemicals on the environment of villages (case study: villages of Zarin-Dasht city), *Natural Hazards Management, 4(3),* 247-262. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/JHSCI.2018 .248113.306
3. Boucekkine, R., Jacek, K., & Thomas, V. (2011). "Environmental quality versus economic performance: a dynamic game approach". *Optimal Control Applications and Methods*, *32*(1), 29–46. https://doi.org/10.1002/oca.927
4. Beshartadeh, M., Nowrozi, A., & Faizabadi, Y. (2021). Evaluation of economic-environmental efficiency of tangerine production in Mazandaran province with the approach of rural economic development, *Space Economy and Rural Development Quarterly*, *4*, 195-219. (In Persian with English abstract)
5. Charles, A., & Cooper, W.W. (1962). Programming with linear fractional functionals. Naval Res. Logistics. Q, *9*, 181–186. https://doi.org/10.1002/nav.3800100123.
6. Despotis, D.K., Maragos, E.K., & Smirlis, Y.G. (2006). Data envelopment analysis with missing values: An interval DEA approach. *European Journal of Operational Research*, *140*, 24–36. https://doi.org/10.1016/j.amc.2005.10.028
7. Department of Environment Environmental Organization. (2019).
8. Forleo, M.B., Palmieri, N., & Salimei E. 2018. The Eco-Efficiency of the Dairy Cheese Chain: an Italian case study, *Italian Journal of Food Science*, *30*(2), 112-128. https://doi.org/10.14674/IJFS-1077
9. Han, Y., Geng. Z., Zhu, Q., & Qu, Y. (2015). Energy efficiency analysis method based on fuzzy DEA cross-model for ethylene production systems in the chemical industry. *Energy*, 83, 685-695. https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.078
10. Lertworasirikul, S., Shu-Cherng, F., Joines, J.A., & Nuttle, H.L.W. (2003). Fuzzy data envelopment analysis (DEA): A possibility approach. *Fuzzy Sets and Systems, 139,* 379–394. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(02)00484-0
11. Kazemi, H., Bourkheili, S. H., Kamkar, B., Soltani, A., Gharanjic, K., & Nazari, N. M. (2016), Estimation of greenhouse gas (GHG) emission and energy use efficiency (EUE) analysis in rainfed canola production (case study: Golestan province, Iran*), Energy*, 116, 694-700. http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.010
12. Karimi, F., Pirasteh, H., & Zahedi, K. (2012). Determining the efficiency of wheat farming according to the two factors of time and risk using coverage analysis Open data and windowed data coverage analysis, *Agricultural economics and development*.
13. Mardani, M., Sakhdari, H., & Sabouhi, M. (2011). Application of multi-objective programming and Controller parameters of conservatism in agricultural planning, Case study: Mashhad city. *Journal of Agricultural Economics Research*, *2*, 161-187. https://doi.org/20.1001S.1.20086407.1390 .3.10.10.7
14. Mardani Najafabadi, M., & Ziaee, S. (2015). Determining the efficiency of irrigated wheat fields in Neishabur city under conditions of uncertainty, *Economics and Agricultural Development, (2) 30*, pp. 136-147. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ JEAD2. V30I2.49099
15. Mardani Najafabadi, M., & Abdshahi, A. (2018). Evaluating the efficiency of groves in Ahvaz city under conditions of uncertainty: the application of robust data coverage analysis and Monte Carlo simulation, *Agricultural Economics and Development*, *33(2)*: 191-204. (In Persian with English abstract)
16. Masuda, K. (2016). Measuring eco-efficiency of wheat production in Japan: a combined application of life cycle assessment and data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*, *17*(22), 373–381. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.090
17. Nikkhah, A., Khojastehpour, M., Emadi, B., Taheri-Rad, A., & Khorramdel, S. (2015). Environmental impacts of peanut production system using life cycle assessment methodology, *Journal of Cleaner Production*, *92*, 84-90. https://doi.org/1016/j.jclepro.2014.12.048
18. Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Shamshirband, S. (2016). Modeling energy consumption and greenhouse gas emissions for kiwifruit production using artificial neural networks**,** Journal of Cleaner Production, 133, 924-931. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.188
19. Ohadi, N., Ahani, E., & Moradi, E. (2020). Determination of technical efficiency in dairy farms of Sirjan city using fuzzy data envelopment analysis method, *Journal of Agricultural Economics Research, Volume 12, Number 47*, pp. 252-237. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.20086407.1399.12.47.10.4
20. Ozalp, A., Yilmaz, S., Ertekin, C., & Yilmaz, I. (2018). Energy Analysis and Emissions of Greenhouse Gases of Pomegranate Production in Antalya Province of Turkey, *ErwerbsObstbau*, 1-9 https://doi.org/10.1007/s10341-018-0380-z
21. Reports of Khuzestan Province Program Organization, (2016).
22. Rasakhis. S., Shahrazi, M., Shidaei, Z., Jafari, M., & Dehghan, Z. (2015). The relationship between economic efficiency and environmental efficiency: new evidence for developing and developed countries, *Economic Research and Policy Quarterly*, *No. 78*, *Year 24*, 31-56. (In Persian with English abstract)
23. Sabouhi, M., & Mardani, M. (2010). Investigating the effect of rainfall on cropping pattern and total gross margin in the right irrigation network of nekouabad diversion dam. *Journal of Agricultural Economics Research*, *5*, 202-

221.
24. Sabouhi, M., & Mardani, M. (2013). Application of robust optimization approach for agricultural water resource management under Uncertainty. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *139*, *571*-581. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774. 0000578
25. Shokouhi, A.H., Hatami-Marbini, A., Tavana, M., & Saati, S. (2010). A robust optimization approach for imprecise data envelopment analysis. *Computers and Industrial Engineering*, *59*, 387-397. https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.05.011
26. Taate, H., Khosravi, B., Berghae Khatebe, N. (2013). *Investigating the effects of technology and its consequences on the environment*, the third environmental planning and management conference.
27. Ullah, A., Perreta, R.S., Gheewala, SH., & Sonia, P. (2015). Eco-efficiency of cotton-cropping systems in Pakistan: an integrated approach of life cycle assessment and data envelopment analysis. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.10.112
28. Mardani, M., & Taki, M. (2020). Robust data envelopment analysis with Monte Carlo simulation model for optimization the energy consumption in agriculture. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-15. https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1777221
29. Mardani Najafabadi, M., Mirzaei, A., Abdeshahi, A., & Azarm, H. (2020). Determining the efficiency of broiler chicken units in Sistan region, using interval data envelopment analysis and Mont Carlo simulation approach. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 51(2),* 179-194. https://doi.org/10.22059/IJAEDR.2019.273150.668695